

**SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE  
POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y  
LINEALIZADOS**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE  
POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y  
LINEALIZADOS**

**AUTOR:  
EDUARDO ROLANDO TENELEMA YANEZ**

**DIRECTOR:  
CARLOS ANDRÉS BARRERA SINGAÑA**

**Quito, Agosto 2019**

Eduardo Rolando Tenelema Yanez

**SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y LINEALIZADOS**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2019

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Eduardo Rolando Tenelema Yanez** (Y'1991). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio “Nacional Mixto Técnico UNE” de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la simulación de flujos de potencia en sistemas eléctricos de potencia usando métodos completos, desacoplados y linealizados. [etenelema@est.ups.edu.ec](mailto:etenelema@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Carlos Andrés Barrera Singaña** (Y'1989). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, donde se graduó de Ingeniero Eléctrico en octubre de 2013. Además, cursó estudios de posgrado en la Universidad de Zaragoza, España, donde obtuvo el título en Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética con Especialidad en Sistemas Eléctricos. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. [cbarrera@ups.edu.ec](mailto:cbarrera@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2019 Universidad Politécnica Salesiana  
QUITO - ECUADOR

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, Carlos Andrés Barrera Singaña declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y LINEALIZADOS*” realizado por Eduardo Rolando Tenelema Yanez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., Agosto de 2019



.....  
Carlos Andrés Barrera Singaña

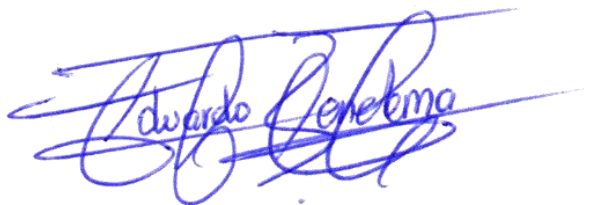
C.C.: 0503503336

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Eduardo Rolando Tenelema Yanez, con documento de identificación N° 1723944706, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “*SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y LINEALIZADOS*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, D.M., Agosto de 2019



.....  
Eduardo Rolando Tenelema Yanez

C.C.: 1723944706

## 1. ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	2
2	Marco teórico .....	3
2.1	Flujos de Potencia .....	3
2.1.1	Tipos de Barras: .....	3
2.2	Métodos de resolución .....	4
2.2.1	Método Gauss-Seidel (GS) .....	4
2.2.2	Método Newton-Raphson (NR) .....	5
2.2.3	Método Newton-Raphson Desacoplado (NRD).....	6
2.2.4	Método Newton-Raphson Desacoplado Rápido (NRDR) .....	7
2.2.5	Método Linealizado (DC) .....	8
3	Implementación de los modelos matemáticos.....	9
4	Interfaz gráfica .....	9
5	Caso de estudio .....	10
5.1	Análisis de resultados.....	12
6	Conclusiones .....	13
6.1	Trabajos futuros .....	14
7	Referencias .....	14
7.1	Matriz de Estado del Arte .....	16
7.2	Resumen de Indicadores .....	18

## 2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interfaz GUIDE. ....	10
Figura 2. Sistema IEEE de 9 barras. ....	10
Figura 3. Pantalla de Resultados. ....	12
Figura 4. Diagrama de barras del número de iteraciones por método. ....	13
Figura 5. Resumen e indicador de la temática – Estado del arte.....	18
Figura 6. Indicador de formulación del problema – Estado del arte.....	19
Figura 7. Indicador de solución – Estado del arte.....	19

## 3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algoritmo método Gauss-Seidel.....	10
Tabla 2. Algoritmo método Newton-Raphson.....	10
Tabla 3. Algoritmo método Newton-Raphson Desacoplado. ....	11
Tabla 4. Algoritmo método Newton-Raphson Desacoplado Rápido.....	11
Tabla 5. Algoritmo método Linealizado. ....	12
Tabla 6. Datos iniciales de barras . ....	12
Tabla 7. Datos de líneas y transformadores. ....	12
Tabla 8. Resultados de voltajes - GS. ....	12
Tabla 9. Resultados de voltajes - NR . ....	12
Tabla 10. Resultados de voltajes - NRD . ....	13
Tabla 11. Resultados de voltajes - NRDR . ....	13
Tabla 12. Resultados de voltajes - DC . ....	13
Tabla 13. Matriz de estado del arte . ....	17



# **SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y LINEALIZADOS**

## **Resumen**

En este documento se presenta las diversas formulaciones empleadas en un estudio de flujos de potencia, las cuales tradicionalmente se han venido desarrollando de la mano con los sistemas eléctricos de potencia. Los métodos empleados son Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Newton-Raphson Desacoplado, Newton-Raphson Desacoplado Rápido y DC. Las distintas formulaciones son aplicadas en Matlab y por medio de una interfaz gráfica se desarrolla una aplicación que le permite al usuario seleccionar uno de los métodos de solución de flujos de potencia. Los resultados encontrados para un sistema de prueba permiten evidenciar que la aplicación entrega resultados adecuados y en un número de iteraciones relacionada a cada método.

**Palabras Clave:** Flujos de Potencia, Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Métodos Desacoplados, Método Linealizado, Sistema Eléctrico de Potencia.

## **Abstract**

This document presents some formulations used in a load flow study, which have traditionally been developed with power electrical systems. The methods used are Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Newton-Raphson Decoupled, Newton-Raphson Decoupled Fast and DC. The different formulations are applied in Matlab and by means of a graphical interface an application is developed that allows to the user to select one of these methods to solve a power flow problem. The results found for a test system show that the application delivers adequate results and in a number of iterations related to each method.

**Key Words:** Power Flow, Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Decoupled Methods, Linearized Method, Power System.

# 1 Introducción

En Ingeniería Eléctrica siempre existe la presencia de análisis de flujos de potencia, ya sea por razones didácticas, por investigación, por operación o por planeamiento académico, de Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP). Este análisis o estudio en estado estacionario o estable puede ser conocido también como Flujo de Carga o sus traducciones del inglés Load Flow o Power Flow.

De este estudio es posible conocer en detalle todos los valores correspondientes a voltajes, ángulos, potencias, corrientes, etc. de las diferentes barras que componen un sistema eléctrico.

Es por lo cual que conforme ha avanzado los años se han desarrollado programas computacionales para facilitar estos cálculos y obtener respuestas en muy cortos períodos de tiempo, ya que conocer el estado del SEP permite tomar acciones de control que lo puedan situar dentro de sus rangos normales de operación.

Las ecuaciones no lineales que surgen al realizar los cálculos de un flujo de potencia solamente se resuelven mediante procesos iterativos. Es por eso que se utilizan métodos iterativos que permitan una convergencia relativamente rápida. En este documento se presentan y formulan los métodos clásicos completos, desacoplados y linealizados para resolver flujos de potencia. Entre estos métodos se encuentran: Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Newton-Raphson Desacoplado, Newton-Raphson Desacoplado Rápido y Linealizado o DC [1].

Para el estudio de sistemas de potencia y principalmente para el análisis de flujos de potencia, es común tener que resolver grandes sistemas. Esto hace necesario que, a más de la herramienta computacional, se tenga un grado de conocimientos teóricos, que son

necesarios para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos.

El estudio computacional de los sistemas eléctricos de potencia es una temática que se ha desarrollado a la par con el avance de programas informáticos. Es por lo que hoy en día las herramientas informáticas poseen varios programas de análisis que combinan criterios técnico-económicos, así como también poseen interfaces gráficas muy amigables y fáciles de manejar por los usuarios [2].

Los métodos propuestos como casos de estudios en este documento se consideran los más adecuados para resolver problemas de flujos de potencia, dado que han sido probados a lo largo de los años, y han sido aporte al desarrollo actual de los SEP a nivel mundial. Para cada uno de ellos se realiza un análisis conceptual del método, la formulación y su algoritmo, y se implementa un código en Matlab con dichos métodos. Para propósitos didácticos, se desarrolla en Matlab una interfaz gráfica para facilitar la interpretación de resultados [3].

El presente documento está estructurado de la siguiente manera: Sección I: introducción y antecedentes de flujos de potencia en sistemas eléctricos. Sección II: marco teórico sobre flujos de potencia y métodos para estudio para resolver problemas de flujos de potencia. Sección III: modelación y caso de estudio. Sección IV: implementación de los modelos matemáticos. Sección V: Restricciones de análisis del problema. Sección VI: Algoritmos de solución para los métodos en estudio. Sección VII: visualización de resultados de los métodos aplicados. Sección VIII: Conclusiones y trabajos futuros. Sección IX: referencias, matriz de estado del arte y resumen de indicadores.

## 2 Marco teórico

### 2.1 Flujos de Potencia

Un flujo de potencia implica encontrar la solución a una serie de ecuaciones simultáneas algebraicas, dada la característica que tienen las relaciones, entre el voltaje y la corriente en cada barra, entre el requerimiento de potencia activa y reactiva en una barra de carga (barra PQ) o la capacidad de potencia generada y el tamaño de voltaje especificado en una barra de generación (barra PV) [1][4].

Con las circunstancias de operación de un sistema eléctrico y conforme con las potencias activa y reactiva que inyectan la generación y la carga en las barras de red de un SEP, se puede conocer las disposiciones eléctricas en estado permanente para estudiar su comportamiento. Para operar un SEP en estado estable hay que considerar los siguientes criterios [2][4]:

- La generación debe abastecer a toda la demanda más las mermas de potencia que se generan en las líneas de transmisión por efecto Joule.
- Los valores de voltaje en las barras deben permanecer dentro del rango valor nominal.
- Los generadores no deben operar fuera de los límites especificados de potencia activa y reactiva.
- Los transformadores y las líneas de transmisión deben operar dentro de sus límites, es decir no tienen que estar sobrecargados [3][5].

El estudio de flujos de carga es de gran interés en la planeación de la red eléctrica y en el diseño de futuras expansiones de los sistemas eléctricos, asimismo en la mejora de las condiciones de operación de los sistemas eléctricos existentes. Los datos que se obtienen al realizar un estudio de flujos de potencia es la magnitud y el ángulo del voltaje en cada

nodo del sistema, así como la potencia real y reactiva en todos los ramales [5].

Este estudio se lo realiza principalmente en la red de transmisión, ya que para el análisis se necesita considerar un sistema que esté operando de forma estable y balanceada dentro de la formulación tradicional. Entonces para el análisis de flujos se debe tener en cuenta que las cargas del sistema son de valores constantes [5][6]. En general, el planteamiento de las ecuaciones de flujos de potencia se hace de acuerdo a tres tipos de barras del sistema, para las que se especifican valores iniciales [4][6].

#### 2.1.1 Tipos de Barras:

##### 2.1.1.1 Barras de Carga (PQ)

En este tipo de barras de carga, no se encuentra generación por lo tanto  $P_{Gi}$  y  $Q_{Gi}$  son cero. En las barras de carga se encuentra definida la potencia de demanda  $S = P + jQ$ , por lo tanto, la potencia activa y potencia reactiva se consideran que son constantes. El voltaje en una barra de carga es desconocido, tanto en magnitud como ángulo [4][6].

##### 2.1.1.2 Barras de voltaje controlado (PV)

En esta barra permanece constante la magnitud del voltaje y se especifica la potencia activa inyectada a la red. En las barras que se conectan a un generador se puede controlar la energía del generador y la magnitud del voltaje por medio de la excitación del generador. Por lo tanto, esta barra suministra la parte activa de la potencia  $S$  y la parte reactiva es variable, la cual se ajusta al valor requerido por el sistema [4][6].

##### 2.1.1.3 Barras de compensación (SLACK)

El voltaje en la barra de compensación llamada también de referencia u oscilante,

por lo general es 1 [p.u.] mientras que el ángulo del voltaje se utiliza como referencia para encontrar los demás ángulos de los otros voltajes, de valor cero grados [6][7].

## 2.2 Métodos de resolución

La formulación matemática para determinar el estado del sistema eléctrico en un flujo de carga, genera un conjunto de ecuaciones algebraicas no lineales y debido a esa no linealidad, la solución de estos sistemas de ecuaciones está basada en técnicas iterativas.

### 2.2.1 Método Gauss-Seidel (GS)

El método de Gauss-Seidel es un procedimiento numérico iterativo simple para los cálculos de un flujo de carga. Este método encuentra una solución al conjunto de ecuaciones, resolviendo repetidamente este conjunto de ecuaciones hasta que la solución se encuentre dentro de un límite de error aceptable. La convergencia del método Gauss-Seidel es lenta y es directamente proporcional al factor de aceleración. En general para una mejor convergencia, el factor de aceleración se elige entre 1.4 a 1.6. El método de Gauss-Seidel fue el más utilizado hace años atrás donde no se disponía de una vasta memoria central en las computadoras [8][9].

El método de Gauss-Seidel utiliza los valores calculados en una iteración determinada para calcular los valores de las incógnitas faltantes de la misma iteración. Estos valores calculados se utilizan para la siguiente iteración. Esto reduce considerablemente el número de iteraciones hasta alcanzar la convergencia total del flujo de potencia. El factor de aceleración en algunas ocasiones puede reducir la cantidad de iteraciones necesarias para converger [10].

Algunas características que definen al método de Gauss-Seidel son:

- Es uno de los métodos más simples en el análisis de flujos de carga.
- Por su simplicidad es fácilmente manejable para el inicio del análisis de flujos de carga.
- Este método se utiliza para el estudio de flujos de potencia en sistemas eléctricos pequeños.
- Este método se puede utilizar en sistemas eléctricos de potencia grandes para obtener una primera solución aproximada, utilizándola como solución inicial para el método de Newton-Raphson. Sin embargo, la convergencia del método de Gauss-Seidel se vuelve cada vez más lenta a medida que el tamaño del sistema se expande; y por lo tanto no es muy común emplearlo para estudios prácticos de flujo de carga o para estudios de investigación que involucren flujos de potencia en redes complejas [10].

Los resultados erróneos que el método Gauss-Seidel podría arrojar se distinguen inspeccionado de manera rápida los resultados, ya que los voltajes del sistema tienen un intervalo del ángulo de fase no mayor que  $45^\circ$  y el ángulo entre las barras adyacentes es menor a  $10^\circ$ . El utilizar el método de resolución de Gauss-Seidel por años para resolver flujos de carga, facilita demostrar que se necesita un número muy grande de iteraciones para lograr que el voltaje corregido se encuentre dentro de los límites aceptables de precisión [9][10].

#### 2.2.1.1 Formulación del método Gauss-Seidel

En las barras de voltaje controlado (PV), se tiene que considerar la ecuación de voltaje y la ecuación de potencia reactiva en la barra.

$$V_i^k = \frac{1}{Y_{ii}} \left[ \frac{P_i - jQ_i}{V_i^{(k-1)*}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^k - \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right] \quad (1)$$

$$Q_i^k = -Im \left[ V_i^{(k-1)*} \left( \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^k + \sum_{j=i}^n Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right) \right] \quad (2)$$

Para barras PQ se tiene las siguientes formulas:

$$V_i^k = V_i^{esp} V_i^{k+1} / V_i^{k+1} \quad (3)$$

Para reducir el número de iteraciones la corrección del voltaje en una barra por un factor de aceleración ( $\alpha$ ) que por lo general es,  $\alpha = 1.6$  para redes radiales y  $\alpha = 1.4$  para redes de alta interconexión [11].

$$V_{i,acel}^k = (1 - \alpha) V_{i,acel}^{(k-1)} + \alpha V_i^{(k)} \quad (4)$$

Como este método es iterativo se tienen que cumplir estas dos condiciones de convergencia [12]:

$$|V_{i,real}^k - V_{i,real}^{k+1}| < tolerancia \quad (5)$$

$$|V_{i,imag}^k - V_{i,imag}^{k+1}| < tolerancia \quad (6)$$

### 2.2.2 Método Newton-Raphson (NR)

Newton-Raphson es un método ampliamente conocido por sus excelentes características de convergencia (convergencia cuadrática), sobre todo en sus versiones desacopladas.

Debido a su convergencia cuadrática, matemáticamente es superior al método de Gauss-Seidel, por lo tanto, es más eficiente. La cantidad de iteraciones suficientes para que el método Newton-Raphson llegue a una solución es independiente del tamaño del sistema, a diferencia del método de Gauss-Seidel donde el número de iteraciones dependen del tamaño del SEP en estudio. El método de Newton-Raphson es mucho más veloz que el método de Gauss-Seidel, aunque esto implique que invirtiendo la matriz Jacobiano para cada iteración se extiende el proceso del método, pero a pesar de

esto converge en menos iteraciones [13][14][15].

El estudio de flujos de carga al ser resuelto mediante el método de Newton-Raphson transforma las ecuaciones no lineales en ecuaciones lineales. Las ecuaciones no lineales que se emplean expresan las potencias reales y reactivas en términos de los voltajes de barra. [16][17]. Con esto elimina los cálculos con cantidades complejas y además se reduce el número de iteraciones [18].

Las principales características del método de Newton-Raphson son:

- Convergencia cuadrática.
- La duración del cálculo crece proporcionalmente con el tamaño del sistema.
- Resuelve sistemas con desfases superiores a los 90°.

#### 2.2.2.1 Formulación del método Newton-Raphson

Para un SEP expresado en coordenadas polares, las potencias calculadas se expresan como [19]:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (7)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (8)$$

Para los cálculos de las variaciones o errores de potencias se tiene [20]:

$$\Delta P_i = P_{i,prog} - P_{i,cal} \quad (9)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - Q_{i,cal} \quad (10)$$

$$\Delta P_i = P_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (11)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (12)$$

Para encontrar ángulos y voltajes según la ecuación de Newton-Raphson [20][21]:

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} = -[J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (13)$$

La matriz Jacobiano “J” viene dada de la siguiente forma:

$$J = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \quad (14)$$

Donde las ecuaciones para la matriz del Jacobiano se presentan a continuación.

Fuera de la diagonal:

$$H_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (15)$$

$$N_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} - B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (16)$$

$$M_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} - B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (17)$$

$$L_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (18)$$

En la diagonal:

$$H_{ii} = V_i^2 B_{ii} + Q_i \quad (19)$$

$$N_{ii} = -V_i^2 G_{ii} - P_i \quad (20)$$

$$M_{ii} = V_i^2 G_{ii} - P_i \quad (21)$$

$$L_{ii} = V_i^2 B_{ii} - Q_i \quad (22)$$

Una vez obtenidas las correcciones para ángulo y magnitud de voltaje se deben corregir los mismos de acuerdo a las expresiones:

$$\theta^{K+1} = \theta^K + \Delta\theta^K \quad (23)$$

$$V^{K+1} = V^K (1 + \Delta V/V)^K \quad (24)$$

### 2.2.3 Método Newton-Raphson Desacoplado (NRD)

En observaciones realizadas de generación-transmisión al sistema eléctrico de potencia funcionando en estado permanente o estable, se demuestra que generalmente cuando ocurren pequeñas variaciones en la dimensión del voltaje en una barra, la potencia activa en la misma no cambia mayormente. Al igual que las pequeñas variaciones del ángulo de fase no afecta significativamente a la potencia reactiva. Es decir que existe una fuerte dependencia entre los ángulos de voltaje y la potencia activa de la barra, y una fuerte dependencia entre la magnitud de voltaje y la potencia reactiva de la barra. A estas observaciones se le considera como el origen de “desacoplamiento”, y en este origen está basado el método de Newton-Raphson Desacoplado. Este asume que no existen matrices M y N, por ser mínimas las variaciones antes mencionadas entre (P y V) y (Q y  $\theta$ ), simplificando el Jacobiano [22][23][24].

Las características principales del método Newton-Raphson desacoplado son:

- Es simple y computacionalmente eficiente.
- Convergencia lineal y rápida.
- En capacidad de almacenamiento aventaja a los métodos Newton-Raphson y Gauss-Seidel, ya que ahorra un 30 a 40% de memoria computacional.
- El tiempo de cálculo por cada iteración es menor que en el método Newton Raphson.

- Como las características de convergencia son casi lineales, hace que el método Newton-Raphson Desacoplado en la actualidad no tenga aplicación práctica.
- Es la base teórica para el desarrollo del método Newton Raphson Desacoplado Rápido [22][25].

### 2.2.3.1 Formulación del método

#### Newton-Raphson Desacoplado

Al eliminar las submatrices M y N del Jacobiano:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (25)$$

Este principio de desacoplamiento es válido en sistemas de transmisión donde:

$$G_{ij} \ll B_{ij} \quad (26)$$

Así las ecuaciones a resolver son más simples:

$$\Delta P = [H][\Delta \theta] \quad (27)$$

$$\Delta Q = [L][\Delta V/V] \quad (28)$$

Una vez determinados los incrementos de potencias activas y reactivas, y evaluados en las submatrices del Jacobiano, se encuentran los  $\Delta \theta$  y  $\Delta V/V$ . Se corrigen los valores de voltaje tanto en ángulo como en magnitud. Éste proceso continua hasta que  $\Delta P$  y  $\Delta Q$  sean menores a la tolerancia especificada previamente dentro del método [25][26][27].

### 2.2.4 Método Newton-Raphson

#### Desacoplado Rápido (NRDR)

El método Newton-Raphson Desacoplado Rápido, procede del método desacoplado; y mediante algunas modificaciones se convierte al Jacobiano en una matriz de términos constantes para todo el proceso

iterativo, es decir ya no es necesario evaluar el Jacobiano para cada iteración, al obtener un Jacobiano constante solamente se necesita invertir solo una vez al mismo. Éste método es formidablemente rápido y eficaz; y hoy en día es el método más usado para la resolución de problemas de flujos de potencia y sobre todo en análisis de operación en tiempo real [27][28].

### 2.2.4.1 Formulación del método

#### Newton-Raphson Desacoplado Rápido

Dado que el Jacobiano tiene valores constantes en sus términos es necesario formular las ecuaciones para dichos términos:

$$H_{ii} = -Q_i - B_{ii}V_i^2 \quad (29)$$

$$H_{ij} = V_p V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (30)$$

$$L_{ii} = Q_i - B_{ii}V_i^2 \quad (31)$$

$$L_{ij} = V_p V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (32)$$

Dentro de las simplificaciones adicionales que hacen constante al Jacobiano se tiene:

- $B_{ii}V_i^2 \gg Q_i$
- $\sin \theta_{ij} \ll \cos \theta_{ij}$
- Solamente para el Jacobiano se considera la magnitud de voltaje a 1 [p.u.]

Por lo tanto:

$$H_{ii} = -B_{ii} \quad (33)$$

$$H_{ij} = -B_{ij} \quad (34)$$

$$L_{ii} = -B_{ii} \quad (35)$$

$$L_{ij} = -B_{ij} \quad (36)$$

Quedando el sistema a resolver de la siguiente manera:

$$\Delta P = [B']\Delta\theta \quad (37)$$

$$\Delta Q = [B'']\Delta V \quad (38)$$

Donde  $B'$  y  $B''$  son las componentes de la parte imaginaria de la ( $Y_{barra}$ ).

Se debe asumir un valor de 1 [p.u.] para  $V_i$  y  $V_j$ ; finalmente las ecuaciones toman la forma:

$$\frac{\Delta P}{V} = [B']\Delta\theta \quad (39)$$

$$\frac{\Delta Q}{V} = [B'']\Delta V \quad (40)$$

Al resolver las ecuaciones se encuentra  $\Delta\theta$  y  $\Delta V$ , valores que sirven para corregir  $\theta$  y  $V$ . Este proceso se repite hasta alcanzar la convergencia [29][30][31].

El método Newton-Raphson Desacoplado Rápido posee cuatro posibles variantes:

BB: las resistencias no son ignoradas en su totalidad y las susceptancias son usadas tanto para el cálculo de  $B'$ , como para  $B''$ . Esta variante del método usualmente tiene una mala convergencia.

XB: las resistencias son ignoradas para el cálculo de  $B'$ , para esta matriz solamente se utilizan las reactancias. Esta variante es la versión estándar que se utiliza para el método desacoplado rápido. Tiene una excelente convergencia.

BX: las resistencias son ignoradas en para el cálculo de  $B''$ . Esta versión es utilizada cuando para sistemas pequeños o cuando  $R/X$  tiene un valor alto.

XX: las resistencias son ignoradas para el cálculo de las matrices  $B'$  y  $B''$ . Esta

versión no es mejor que las versiones XB o BX, pero se usa para realizar algunas comparaciones [29].

El método desacoplado rápido tiene un limitante en el que no garantiza la convergencia. Esto ocurre en redes que tienen elementos en los cuales la relación  $R/X$  y  $G/B$  son alta. Para solucionar este problema se necesita añadir una barra imaginaria entre estos elementos, con eso se consigue bajar la relación  $R/X$  [2][8].

### 2.2.5 Método Linealizado (DC)

El método linealizado o flujo de carga DC es un acercamiento ampliamente utilizado para resolver flujos de carga. Este método transforma las ecuaciones alineales del flujo de carga en ecuaciones lineales a través de ciertas hipótesis, como que la magnitud del voltaje en todas las barras del sistema son 1 [p.u.]. La transformación se basa en que no se necesita saber con precisión la magnitud de los voltajes en las barras ya que viene determinado como un valor constante ya antes mencionado. Al utilizar este método para calcular el flujo de carga, se desea saber de manera aproximada la distribución de potencia activa de la red. Este método es utilizado para la planeación de expansión de la red de transmisión, y conseguir analizar las diferentes opciones de traspaso de potencia en un corto período de tiempo de cálculo dado que no es iterativo [23][32].

#### 2.2.5.1 Formulación del Método Linealizado

Parte únicamente de la ecuación de potencias inyectadas en las barras del sistema [32]:

$$P_i = \sum_j^n V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (41)$$

Al considerar que los voltajes  $V_i = V_j = 1$  [p.u.] y  $G_{ij} \approx 0$ , entonces se obtiene [33]:



$$P_i = \sum_j^n (B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (42)$$

Donde:

$$\sin \theta_{ij} \approx (\theta_i - \theta_j) \quad (43)$$

Quedando:

$$P_i = \sum_j^n B_{ij} (\theta_i - \theta_j) \quad (44)$$

Si se reformula la última ecuación se obtiene:

$$P_i = -\sum_j^n B_{ij} (\theta_j) \quad (45)$$

Expresado matricialmente:

$$P = -[B][\theta] \quad (46)$$

Donde  $[B]$ , es la matriz conformada por la parte irreal de la matriz de admitancias de barra.

Cuando se encuentra el ángulo  $\theta$ , se calcula el flujo de potencia activa, mediante [34]:

$$P_{ij} = \sum_j^n \frac{1}{X_{ij}} (\theta_i - \theta_j) \quad (47)$$

Donde  $X_{ij}$  es la reactancia del elemento entre la barra  $i, j$ , por lo tanto:

$$\sum P_i = 0 \quad (48)$$

Y la potencia de la barra slack es:

$$P_1 = -\sum_{1 \neq i}^n P_i \quad (49)$$

### 3 Implementación de los modelos matemáticos

Para los métodos propuestos en este trabajo, se desarrollan algoritmos que pueden ser implementados en cualquier

software con la capacidad de manejar un lenguaje de programación.

Desde la Tabla 1 a la Tabla 5 se recopilan los algoritmos desarrollados, para los métodos GS, NR, NRD, NRDR y DC.

### 4 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica GUIDE de Matlab permite ejecutar un script del mismo Matlab de una manera amigable con el usuario, eliminando la necesidad de escribir comandos al final de ejecutar un programa o para visualizar resultados. Estas pantallas facilitan la ejecución de programas con menús de controles como: botones, controles deslizantes, pantallas internas, combo de botones, texto, etc.

Dentro de las pantallas GUIDE que indican los resultados obtenidos de cada uno de los métodos que se estudia en este documento, existen botones para cada uno de los métodos. Todos los botones de los métodos están dentro de una pantalla principal, la cual contiene todas las programaciones de los métodos estudiados en este documento. El cambio de una pantalla a otra se lo realiza mediante un llamado de cierre y apertura entre las pantallas que principal y pantallas de cada uno de los métodos. Dentro de las pantallas de cada método se tiene la programación del llamado de resultados de la pantalla principal de cada método, para mostrarlos en tablas ubicadas en un área específica escogida al momento de crear estas pantallas. Para darle una mejor vista la pantalla principal tiene cargada una imagen de fondo, la cual se visualiza al momento de correr la programación.

En la Figura 1 se presenta la interfaz desarrollada.

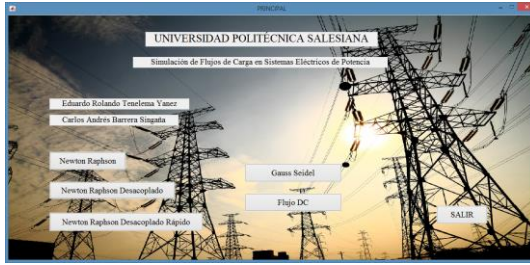


Figura 1. Interfaz GUIDE.

## 5 Caso de estudio

El análisis de los métodos iterativos se realiza para un sistema de  $n$  barras, y en este caso se selecciona el sistema de prueba IEEE de nueve barras (Figura 2), cuya solución de flujos de potencia es ampliamente encontrada.

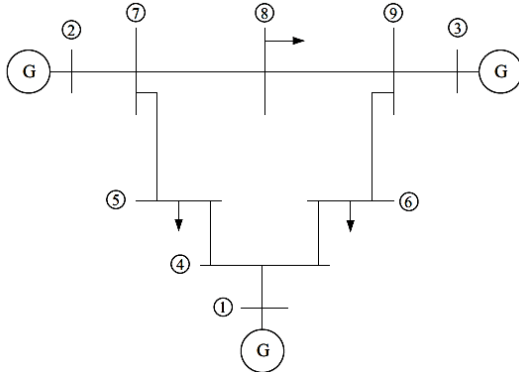


Figura 2. Sistema IEEE de 9 barras [1].

En la Tabla 6 y Tabla 7 se indican los datos técnicos del sistema de prueba, para una potencia base de 100 [MVA].

Tabla 1. Algoritmo método Gauss-Seidel

Algoritmo Gauss-Seidel
<b>Paso I:</b> Ingreso de Datos del sistema. Datos de barras y datos de líneas.
<b>Paso II:</b> Formación de la matriz de admitancias $Y$ de barra
<b>Paso III:</b> Definir las barras PV y PQ. Especificar la barra <u>Slack</u> ' $S'$ ', $V_S$ , $\theta_S$
<b>Paso IV:</b> Asumir voltajes iniciales de barra. $V_i, i = 1, 2, \dots, n; i \neq s$
<b>Paso V:</b> Empezar iteración ( $K \rightarrow 0$ )
<b>Paso VI:</b> Enviar número de barra ( $i \rightarrow 1$ )

### Paso VII:

Si

$i = S$ , paso 9

Caso contrario

Calcular el voltaje de barra  $V_i^{k+1}$

### Paso VIII:

Si

$i = \text{numero de barra PV}$

Calcular el ángulo  $\theta_{ij}$

Ajustar las componentes del voltaje

Calcular la potencia reactiva

$Q = Q - \text{limite inferior si } Q < Q - \text{limite inferior}$

$Q = Q - \text{limite superior si } Q > Q - \text{limite superior}$

Calcular la nueva barra  $V_i^{k+1}$

Caso contrario, paso 9

### Paso IX:

Si

$i = n$

Calcular  $\max|\Delta V| = \max|V_i^{k+1} - V_i^k|$

Caso contrario, paso 7

$i = i + 1$

### Paso X:

Si

$|\Delta V| \leq \epsilon$ , paso 11

Caso contrario, paso 6

$K \rightarrow K + 1$

### Paso XI:

Calcular potencias de flujo y de la barra Slack

Tabla 2. Algoritmo método Newton-Raphson.

### Algoritmo Newton Raphson

#### Paso I:

Ingreso de Datos del sistema.

Datos de barras y datos de líneas.

#### Paso II:

Formación de la matriz de admitancias  $Y$  de barra

#### Paso III:

Definir las barras PV y PQ.

Especificar la barra Slack ' $S'$ ',  $V_S$ ,  $\theta_S$

#### Paso IV:

Asumir voltajes iniciales de barra.

$$V_i, i = 1, 2, \dots, n; i \neq s$$

#### Paso V:

Empezar iteración

( $K \rightarrow 0$ )

#### Paso VI:

Enviar número de barra

( $i \rightarrow 1$ )

#### Paso VII:

Si

$i = S$ , paso 9

Caso contrario

Calcular para barra  $i$

$$\Delta P_i = P_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$j = 1, 2, \dots, n$

#### Paso VIII:

Si

$i = \text{numero de barra PQ}$

Calcular para barra  $i$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$
**Paso IX:**  
Si  
 $i = n$ , paso 10  
Caso contrario, paso 7  
 $i = i + 1$   
**Paso X:**  
Si  
 $\max|\Delta P|$  y  $\max|\Delta Q| \leq \epsilon$ , paso 11  
Caso contrario, paso 6  
Calcular la matriz de Jacobiano y obtener  $\Delta V_i$  y  $\Delta \theta_i$  para resolver:
$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = -J \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$
Realizar nuevo  $V$  and  $\theta$ , para  
Barra PQ:  $V^{K+1} = V^K (1 + \Delta V/V)^K$   
Barra PV:  $\theta^{K+1} = \theta^K + \Delta \theta^K$   
 $K \rightarrow K + 1$   
**Paso XI:**  
Calcular potencias de flujo y de la barra Slack

Tabla 3. Algoritmo método Newton-Raphson Desacoplado.

<b>Algoritmo Newton-Raphson Desacoplado</b>
<b>Paso I:</b> Ingreso de Datos del sistema. Datos de barras y datos de líneas. <b>Paso II:</b> Formación de la matriz de admitancias Y de barra <b>Paso III:</b> Definir las barras PV y PQ. Especificar la barra <u>Slack</u> 'S', $V_S, \theta$ <b>Paso IV:</b> Asumir voltajes iniciales de barra. $V_i, i = 1, 2, \dots, n; i \neq s$ <b>Paso V:</b> Empezar iteración ( $K \rightarrow 0$ ) <b>Paso VI:</b> Enviar número de barra ( $i \rightarrow 1$ ) <b>Paso VII:</b> Si $i = S$ , paso 9 Caso contrario Calcular para barra i $\Delta P_i = P_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$ $j = 1, 2, \dots, n$ <b>Paso VIII:</b> Si $i = \text{numero de barra PQ}$ Calcular para barra i $\Delta Q_i = Q_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$

$j = 1, 2, \dots, n$   
**Paso IX:**  
Si  
 $i = n$ , paso 10  
Caso contrario, paso 7  
 $i = i + 1$   
**Paso X:**  
Si  
 $\max|\Delta P|$  y  $\max|\Delta Q| \leq \epsilon$ , paso 11  
Caso contrario, paso 6  
Calcular la matriz de Jacobiano y obtener  $\Delta V_i$  y  $\Delta \theta_i$  para resolver:
$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = -J \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$
Borrar elementos de la matriz Jacobiano  
 $|\Delta \theta|$  y  $|\Delta Q|$   
Realizar nuevo  $V$  and  $\theta$ , para  
Barra PQ:  $V^{K+1} = V^K (1 + \Delta V/V)^K$   
Barra PV:  $\theta^{K+1} = \theta^K + \Delta \theta^K$   
 $K \rightarrow K + 1$   
**Paso XI:**  
Calcular potencias de flujo y de la barra Slack

Tabla 4. Algoritmo método Newton-Raphson Desacoplado Rápido.

<b>Algoritmo Newton-Raphson Desacoplado Rápido</b>
<b>Paso I:</b> Ingreso de Datos del sistema. Datos de barras y datos de líneas. <b>Paso II:</b> Formación de la matriz de admitancias Y de barra para B' Formación de la matriz de admitancias Y de barra para B'' <b>Paso III:</b> Definir las barras PV y PQ. Especificar la barra <u>Slack</u> 'S', $V_S, \theta_S$ <b>Paso IV:</b> Asumir voltajes iniciales de barra. $V_i, i = 1, 2, \dots, n; i \neq s$ <b>Paso V:</b> Empezar iteración ( $K \rightarrow 0$ ) <b>Paso VI:</b> Enviar número de barra ( $i \rightarrow 1$ ) <b>Paso VII:</b> Si $i = S$ , paso 9 Caso contrario Calcular para barra i $\Delta P_i = P_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$ $j = 1, 2, \dots, n$ <b>Paso VIII:</b> Si $i = \text{numero de barra PQ}$

Calcular para barra  $i$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

$j = 1, 2, \dots, n$

**Paso IX:**

Si

$i = n$ , paso 10

Caso contrario, paso 7

$i = i + 1$

**Paso x:**

Si

$\max|\Delta P|$  y  $\max|\Delta Q| \leq \varepsilon$ , paso 11

Caso contrario, paso 6

$K \rightarrow K + 1$

**Paso XI:**

Calcular potencias de flujo y de la barra **Slack**

## 5.1 Análisis de resultados

Después de haber realizado la simulación de flujos de potencia sobre el SEP propuesto, se presentan los resultados de voltajes detallados a continuación, con los cuales es posible calcular demás variables de operación del SEP.

La Figura 3 presenta de forma gráfica la manera que la interfaz creada presenta los resultados de voltajes.

Tabla 5. Algoritmo método Linealizado.

### Algoritmo Linealizado

**Paso I:**

Ingreso de Datos del sistema.

Datos de barras y datos de líneas.

**Paso II:**

Formación de la matriz de admitancias  $Y$  de barra

**Paso III:**

Separar la matriz de Susceptancias de la matriz  $Y$  de barra

$$[B] = -\text{imag}(Y_{\text{barra}})$$

**Paso IV:**

Borrar fila 1 y columna 1 por la barra **Slack** de la matriz  $B$

**Paso V:**

Calcular las potencias

$$[P_i] = [P_{Gi} - P_{Ci}]$$

**Paso VI:**

Calcular los ángulos de las barras

$$[\theta_i] = [B]^{-1}[P_i]$$

**Paso VII:**

Transformar los ángulos  $\theta_i$  de radianes a grados

**Paso VIII:**

Calcular potencias de flujo y de la barra **Slack**

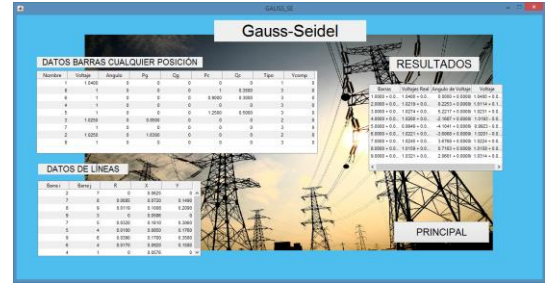


Figura 3. Pantalla de Resultados GS

Tabla 6. Datos iniciales de barras [1].

Barra	Voltaje [p.u.]	Ángulo [°]	Pg	Qg	Pc	Qc
1	1.04	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0.35
6	1	0	0	0	0.9	0.3
4	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	1.25	0.5
3	1.025	0	0.85	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0
2	1.025	0	1.63	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0

Tabla 7. Datos de líneas y transformadores [1].

Barra i	Barra j	R	X	Y
2	7	0	0.0625	0
7	8	0.0085	0.072	0.149
8	9	0.0119	0.1008	0.209
9	3	0	0.0586	0
7	5	0.032	0.161	0.306
5	4	0.01	0.085	0.176
9	6	0.039	0.17	0.358
6	4	0.017	0.092	0.158
4	1	0	0.0576	0

Tabla 8. Resultados de voltajes - GS

Barra	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]
1	1.04	0
2	1.0219	8.2253
3	1.0274	5.2217
4	1.0200	-2.1687
5	0.9949	-4.1041
6	1.0221	-3.6068
7	1.0245	3.6768
8	1.0159	0.7163
9	1.0321	2.0601

Tabla 9. Resultados de voltajes - NR

Barra	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]
			PowerFactory	
1	1.0400	0	1.04	0
8	1.0250	9.28	1.025	9.28
6	1.0250	4.6648	1.025	4.67
4	1.0258	-2.2168	1.025	-2.22
5	0.9956	-3.9888	0.996	-3.98
3	1.0127	-3.6874	1.013	-3.69

Barra	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]
			PowerFactory	
7	1.0258	3.7197	1.026	3.72
2	1.0159	0.7275	1.016	0.73
9	1.0324	1.9667	1.032	1.97

Tabla 10. Resultados de voltajes - NRD

Barra	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]
1	1.0400	0
8	1.0250	9.28
6	1.0250	4.6648
4	1.0258	-2.2168
5	0.9956	-3.9888
3	1.0127	-3.6874
7	1.0258	3.7197
2	1.0159	0.7275
9	1.0324	1.9667

Tabla 11. Resultados de voltajes - NRDR

Barra	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]
1	1.0400	0
8	1.0250	9.28
6	1.0250	4.6648
4	1.0258	-2.2168
5	0.9956	-3.9888
3	1.0127	-3.6874
7	1.0258	3.7197
2	1.0159	0.7275
9	1.0324	1.9667

Tabla 12. Resultados de voltajes - DC

Barra	Magnitud [p.u.]	Ángulo [°]
1	1	0
8	1	10.2396
6	1	5.5614
4	1	-2.2335
5	1	-4.1084
3	1	-3.8174
7	1	4.4025
2	1	1.2240
9	1	2.6075

Como se puede observar en los resultados, para todos los métodos iterativos, los valores de voltajes son relativamente similares; lo cual no es así con el método DC, ya que este es una aproximación dada por varias simplificaciones. En la Tabla 9, se colocan también los resultados obtenidos en el software DigSILENT PowerFactory, de los cuales se puede notar que son iguales a los obtenidos mediante el método NR desarrollado.

El número de iteraciones es aquel que define la calidad de un algoritmo, además

de sus resultados y las aplicaciones que se les quiere dar a los mismos, es así que la Figura 4 presenta una comparativa del número de iteraciones, siendo el método GS aquel de mayor requerimiento de convergencia, y como se esperaba el método NRDR (XB) es aquel de menor requerimiento de iteraciones dada su característica.

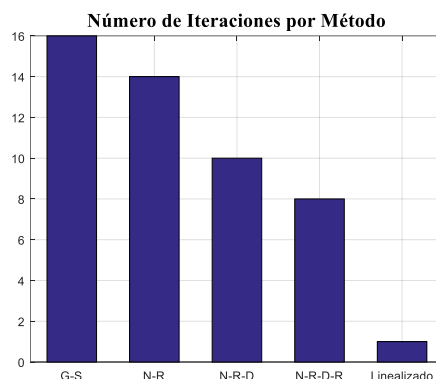


Figura 4. Diagrama de barras de numero de iteraciones por método

## 6 Conclusiones

Los resultados del presente documento permiten establecer las conclusiones siguientes:

Los métodos iterativos para resolver problemas de flujos de potencia facilitan onerosamente la compresión del funcionamiento de un sistema eléctrico, y dan apoyo al entendimiento de los procesos operativos de un SEP.

Los métodos analizados en este trabajo funcionan de manera adecuada y sus resultados corresponden a los conocidos para el sistema de prueba, siendo la diferencia entre unos y otros el tiempo de cálculo.

Es potestad del profesional de la Ingeniería Eléctrica escoger el método de resolución del problema de flujos de potencia o carga conociendo las aplicaciones que se desee dar a los resultados.

Los algoritmos propuestos son una recopilación robusta de los métodos clásicos de estimar solución a flujos de potencia y pueden ser empleados de manera didáctica a nivel de la academia como herramienta de sustento a la realización de tareas.

## 6.1 Trabajos futuros

Los resultados obtenidos en este documento pueden ser tomados como punto de inicio de estudio para:

- Análisis de flujos de potencia con restricciones de potencia en generadores, transformadores o líneas de transmisión.
- Estudio de cortocircuitos mediante métodos completos que empleen como prefalla un flujo de carga.
- Despacho económico y liquidación de energía en el mercado eléctrico desregularizado.

## 7 Referencias

- [1] O. P. M. Abdelhay A. Sallam, *Power System Stability Modelling, analysis and control*. 2015.
- [2] C. C. Gómez-Exposito A., J.Conejo, *Electric Energy Systems Analysis and Operation*. 2009.
- [3] M. S. S. J. Duncan Glover, *Sistemas de Potencia Análisis y diseño*, Tercera Ed. 2012.
- [4] J. I. Franco, “Estudio de Flujos de Potencia y Análisis de Fallas en Sistemas Eléctricos de Distribución Radial,” Universidad Autónoma de Nuevo León, 2002.
- [5] R. Maulio, *Análisis de Sistemas de Potencia*. 1992.
- [6] W. D. S. John J. Grainger, *Análisis de Sistemas de Potencia*. 2002.
- [7] William D. Stevenson, *Analisis de Sistemas Eléctricos de potencia*. 2010.
- [8] G. S. N. Jenkins, B.M. Weedy, J.B. Ekanayake, B.J. Cory, *Electric Power Systems*, Fifth Edit. 2012.
- [9] A. Y. C. G.M. Gilbert, D.E. Bouchard, “A Comparison of Load Flow Análisis Using Distflow, Gauss-Seidel, and Optimal Load Flow Algorithms,” p. 4, 1998.
- [10] S. Chatterjee, “A Novel Comparison of Gauss – Seidel and Newton – Raphson Methods for Load Flow Analysis,” p. 7, 2017.
- [11] Z. S. Salvador, “Flujo de Carga Newton-Raphson Acoplado Rápido con Técnicas para Orientar el Análisis en Caso de Divergencia,” UNIVERSIDAD CENTRAL “ MARTA ABREU ” DE LAS VILLAS, 2017.
- [12] J. F. R. Montealegre, “Análisis de Colapsos en Sistemas Eléctricos de Potencia,” Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.
- [13] V. E. Q. Aguirre, “Desarrollo de un Programa para el Cálculo Digital de Flujo de Potencia Utilizando el Método de Newton Raphson,” Escuela Politécnica Nacional, 1975.
- [14] V. Daniel and H. Ramírez, “Análisis de Colapsos en Sistemas Eléctricos de Potencia,” Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [15] C. M. M. Montecinos, “Flujo de Potencia Trifásico para Sistemas de Distribución,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 1989.
- [16] O. R. S. Jorge Arturo Pérez Venzor, Oscar Núñez Ortega, Néstor Abraham Corchado Nevarez, Raúl Ortiz Chavarría, Abel Eduardo Quezada Carreón, Lidia Hortencia Rascón Madrigal, “Interfaz Gráfica para el Cálculo de Flujos de Potencia en Redes Eléctricas,” no. 56, p. 8, 2015.

- [17] F. T. Toledo, *Métodos Computacionales para el Análisis de Sistemas de Potencia*. Mexico, 1997.
- [18] P. Augusto and M. Dulcey, "Flujo de Carga: Formulación de una Nueva Técnica para Desarrollar el Método Newton-Raphson," Bucaramanga, 2005.
- [19] D. G. Barco, "Análisis de Sensibilidad de Flujos de Potencia Activa Respecto a Variaciones de Carga Nodal," Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [20] H. C. E. Tinney William F, "Power Flow Solution by Newton's Method," no. 11, p. 12, 1967.
- [21] L. F. C., "Ordenamiento y Solución de Flujos de Carga en Sistemas Radiales," pp. 1–8, 1986.
- [22] J. L. C. Nieto, "Incorporación de las Restricciones de Potencia Reactiva Impuestas por los Generadores en Programas de Flujos de potencia," 1995.
- [23] G. A. Rios, *Análisis y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia*. 1988.
- [24] N. C. S. P. Héctor Alfonso Arias Arias, "Estructuración y Desarrollo de Guías Educativas para el Manejo del Software Digsilent v14 Utilizando la Herramienta DPL con Base en un Sistema de Potencia de Prueba de la IEEE," 2014.
- [25] R. Pérez, Arroyo Alfredo and M. Martínez, Gómez Ángel, "Diseño de Software para Cálculo de Flujos de Potencia en Sep, con Fines Didácticos," no. 1, p. 5, 2010.
- [26] J. C. L. A. Pedro Alonso Cardenas Gil, "Análisis Didáctico de Sistemas Eléctricos de Potencias," 1991.
- [27] M. P. G. M., "Flujos de Potencia para Sistemas Eléctricos de Potencia," 1988.
- [28] J. A. A. Gonzalez, "Ambientación Interactiva Basada en Objetos para la Simulación de Sistemas de Potencia," 1994.
- [29] R. A. M. Van Amerongen, "A General-Purpose Version of the Fast Decoupled Loadflow," vol. 4, no. 2, pp. 760–770, 1989.
- [30] B. Stott, "Fast Decoupled Load Flow," no. 3, pp. 859–869, 1973.
- [31] B. B. Oyervides, "Uso del Método de los Centros en la Solución del Problema de Flujos de Potencia," 2011.
- [32] W. A. M. Ponce, "Estudio de Flujo de Potencia con Logica Difusa Basados en los Modelos DC y AC," 1997.
- [33] E. A. B. P. Rossoni, W. M da Rosa, "Linearized AC Load Flow Applied to Analysis in Electric Power Systems," vol. 14, no. 9, pp. 4048–4053, 2016.
- [34] L. A. G. Pareja, "Metodología para Solucionar el Modelo DC para Redes de Transmisión de Energía Eléctrica Usando Puntos Interiores," no. 28, pp. 59–64, 2005.

## 7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 13. Matriz de estado del arte

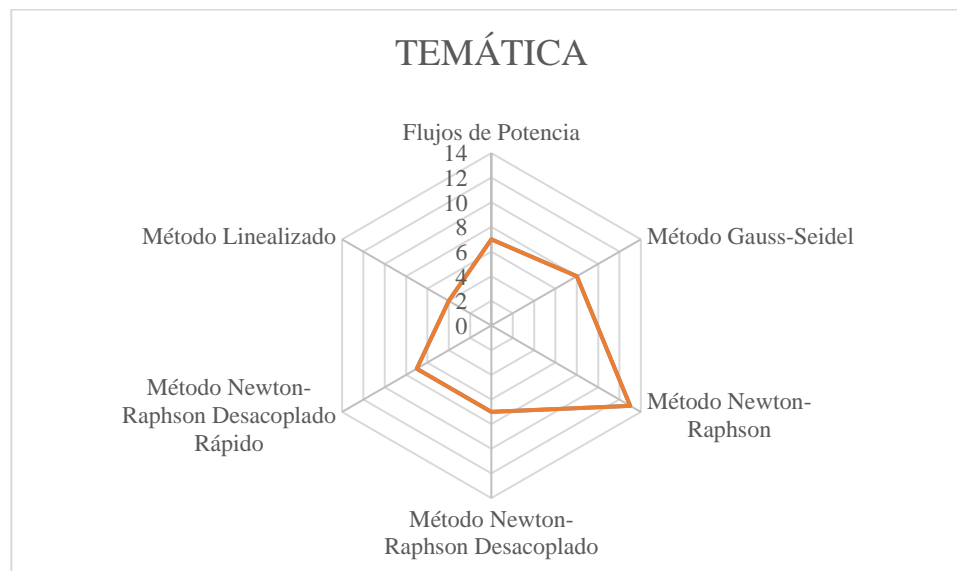
Simulación de Flujos de Potencia en Sistemas Eléctricos de Potencia usando Métodos Completos, Desacoplados y Linealizados																																	
ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO								RESTRICCIONE S DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE SOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA									
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Flujos de Potencia	Método Gauss-Seidel	Método Newton-Raphson	Método Newton-Raphson Desacoplado	Método Newton-Raphson Desacoplado Rápido	Método Linealizado	Modelación	Caso de Estudio	Implementación de los modelos matemáticos	Modelo para Estudio	Método Gauss-Seidel	Método Newton-Raphson	Método Newton-Raphson Desacoplado	Método Newton-Raphson Desacoplado Rápido	Método Linealizado	Restricción de límites Potencia Activa y Reactiva	Restricción de Resistencia para el método Desacoplado Rápido	Restricción de tamaño de líneas	Método Gauss-Seidel	Método Newton-Raphson	Método Newton-Raphson Desacoplado	Método Newton-Raphson Desacoplado Rápido	Método Linealizado	Método Gauss-Seidel	Método Newton-Raphson	Método Newton-Raphson Desacoplado	Método Newton-Raphson Desacoplado Rápido	Método Linealizado		
1	2015	Power System Stability Modelling, analysis and control	56	✖	✖	✖	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	✖	□	✖	□	✖	□	□	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	□	
2	2009	Electric Energy Systems Analysis and Operation	14	✖	✖	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖	□	□	□	□	□	✖	✖	□	□	
3	2012	Sistemas de Potencia Análisis y diseño	25	✖	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	□	□	□	□	□	
4	2002	Estudio de Flujos de Potencia y Análisis de Fallas en Sistemas Eléctricos de Distribución Radial	24	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
5	1992	Análisis de Sistemas de Potencia	16	✖	✖	✖	✖	✖	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	
6	2002	Análisis de Sistemas de Potencia	23	✖	□	□	□	□	□	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
7	2010	Análisis de Sistemas Eléctricos de potencia	32	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	
8	2012	Electric Power Systems	21	□	✖	✖	□	□	□	✖	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	✖	✖	✖	□	✖	✖	
9	1998	A Comparison of Load Flow Analysis Using Distflow, Gauss-Seidel, and Optimal Load Flow Algorithms	14	□	✖	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□



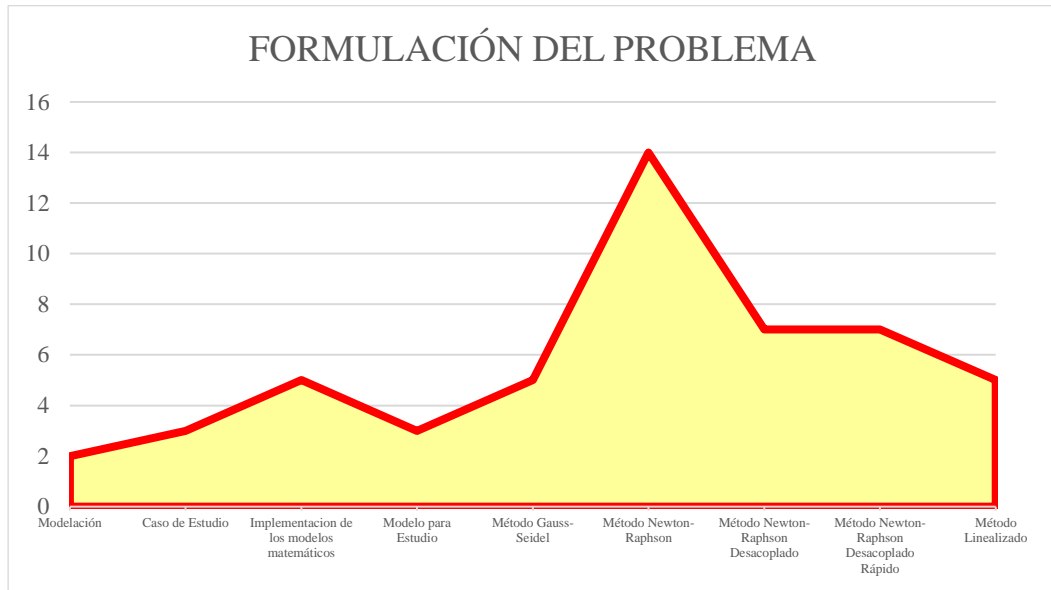
10	2017	A Novel Comparison of Gauss – Seidel and Newton – Raphson Methods for Load Flow Analysis	14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2017	Flujo de Carga Newton-Raphson Acoplado Rápido con Técnicas para Orientar el Análisis en Caso de Divergencia	5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2014	Análisis de Colapsos en Sistemas Eléctricos de Potencia	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	1975	Desarrollo de un Programa para el Cálculo Digital de Flujo de Potencia Utilizando el Método de Newton Raphson	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	2015	Análisis de Colapsos en Sistemas Eléctricos de Potencia	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	1989	Flujo de Potencia Trifásico para Sistemas de Distribución	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2015	Interfaz Gráfica para el Cálculo de Flujos de Potencia en Redes Eléctricas	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	1997	Métodos Computacionales para el Análisis de Sistemas de Potencia	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2005	Flujo de Carga: Formulación de una Nueva Técnica para Desarrollar el Método Newton-Raphson	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	2015	Análisis de Sensibilidad de Flujos de Potencia Activa Respecto a Variaciones de Carga Nodal	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	1967	Power Flow Solution by Newton's Method	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	1986	Ordenamiento y Solución de Flujos de Carga en Sistemas Radiales	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	1995	Incorporación de las Restricciones de Potencia Reactiva Impuestas por los Generadores en Programas de Flujos de potencia	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	1988	Análisis y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2014	Estructuración y Desarrollo de Guías Educativas para el Manejo del Software Digsilent v14 Utilizando la Herramienta DPL con Base en un Sistema de Potencia de Prueba de la IEEE	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	2010	Diseño de Software para Cálculo de Flujos de Potencia en Sep, con Fines Didácticos	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	1991	Análisis Didáctico de Sistemas Eléctricos de Potencias	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	1988	Flujos de Potencia para Sistemas Eléctricos de Potencia	26	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	1994	Ambientación Interactiva Basada en Objetos para la Simulación de Sistemas de Potencia	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	1989	A General-Purpose Version of the Fast Decoupled Load flow	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	1973	Fast Decoupled Load Flow	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

31	201 1	Uso del Método de los Centros en la Solución del Problema de Flujos de Potencia	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
32	199 7	Estudio de Flujo de Potencia con Logica Difusa Basados en los Modelos DC y AC	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
33	201 6	Linearized AC Load Flow Applied to Analysis in Electric Power Systems	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
34	200 5	Metodologia para Solucionar el Modelo DC para Redes de Transmisión de Energía Eléctrica Usando Puntos Interiores	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
CANTIDAD:				7	8	13	7	7	4	2	3	5	3	5	14	7	7	5	2	2	2	2	1	1	6	4	7	9	5	7	5

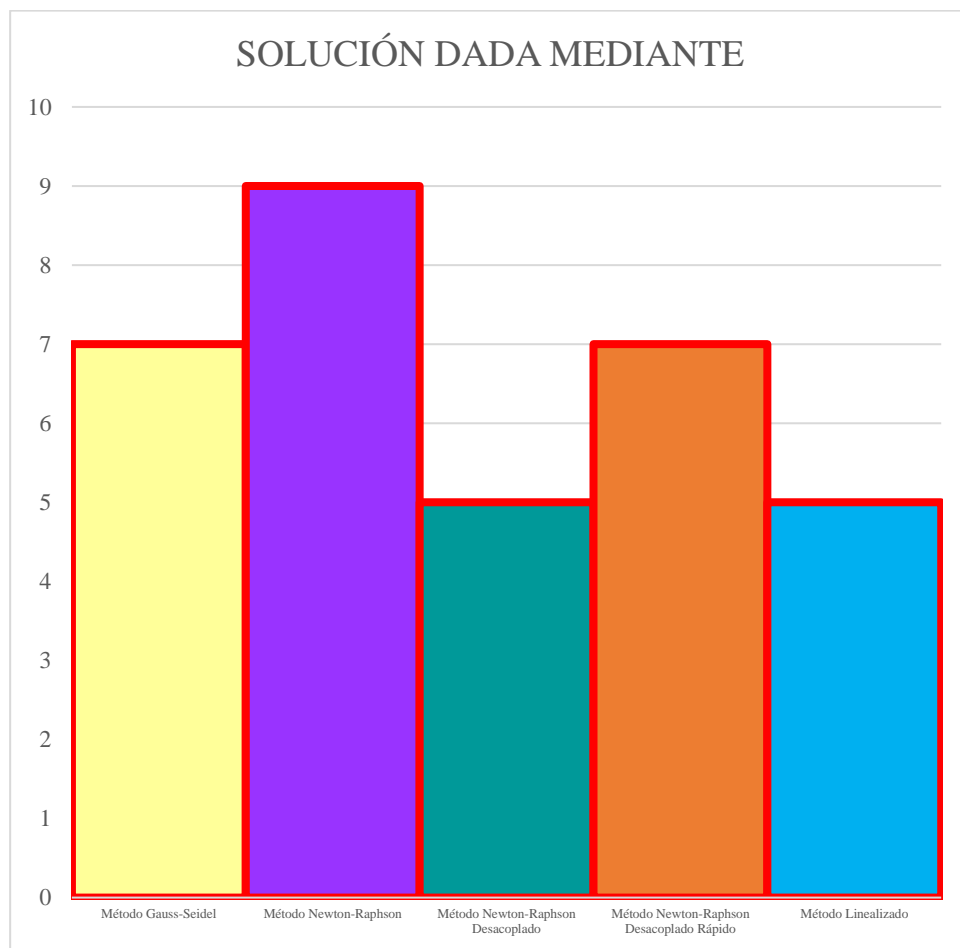
## 7.2 Resumen de Indicadores



**Figura 5.** Resumen e indicador de la temática - Estado del arte



**Figura 6.** Indicador de formulación del problema - Estado del arte



**Figura 7.** Indicador de solución - Estado del arte